

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 1 月 13 日 (13.01.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/002833 A1

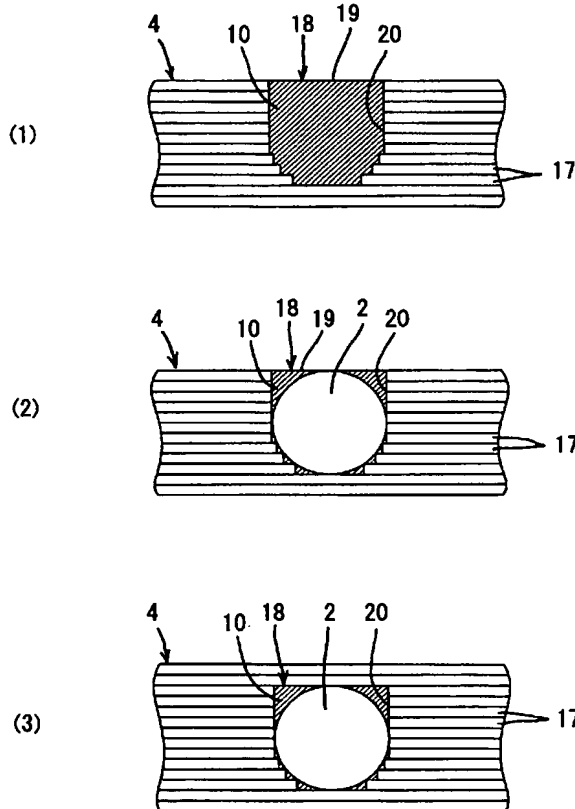
(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: B29C 67/00, G02B 1/02  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008875  
(22) 国際出願日: 2004 年 6 月 24 日 (24.06.2004)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2003-189374 2003 年 7 月 1 日 (01.07.2003) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 Kyoto (JP).

(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中川 卓二 (NAK-AGAWA, Takuji) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 脇野 喜久男 (WAKINO, Kikuo) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).  
(74) 代理人: 小柴 雅昭 (KOSHIBA, Masaaki); 〒5430051 大阪府大阪市天王寺区四天王寺 1 丁目 1 4 番 2 2 号 日進ビル 小柴特許事務所 Osaka (JP).  
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: PHOTONIC THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE AND METHOD FOR PRODUCTION THEREOF

(54) 発明の名称: フォトニック 3 次元構造体およびその製造方法



(57) Abstract: A method for producing a photonic three-dimensional structure, which comprises producing, by the stereo LASER method, a three-dimensional formed article (4) having a cavity (18) with an uncured light-curable resin material (10) and a plurality of laminated cured resin layers (17) comprising a cured product of the light-curable resin material (10), inserting an inorganic article (2) into a concave portion (20) accounting for at least a part of the cavity (18) with the light-curable resin material (10) remaining uncured, on the course of this stereo LASER process before the closure of the cavity (18) at the step of the formation of the concave portion (20), and thermally curing the uncured light-curable resin material (10) in the cavity (18) and allowing it to adhere to the inorganic article (2). The above method allows the production of a photonic three-dimensional structure (1) having a plurality of inorganic articles (2) being accurately arranged on the desired periodical positions, with good efficiency.

(57) 要約: 未硬化の光硬化性樹脂材料 (10) が存在しているキャビティ (18) が形成され、かつ硬化された光硬化性樹脂材料 (10) からなる複数の硬化樹脂層 (17) を積層した構造を有する、3 次元造形体 (4) を光造形法によって製造し、この光造形工程の途中のキャビティ (18) が閉じられる前であって、キャビティ (18) の少なくとも一部となる凹部 (20) が形成された段階で、未硬化の光硬化性樹脂材料 (10) を残したまま、凹部 (20) 内に無機材料体 (2) を挿入し、3 次元造形体 (4) が完成された段階で、キャビティ (18) 内の未硬化の光硬化性樹脂材料 (10) を熱硬化させ、無機材料体 (2) と密着させる。これによって、樹脂材料部分 (3) の内

部に複数個の無機材料体 (2) が所望の周期位置に正確に配置されている、フォトニック 3 次元構造体 (1) を能率的に製造することができる。



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,

IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### フォトニック3次元構造体およびその製造方法

#### 技術分野

- [0001] この発明は、フォトニック3次元構造体およびその製造方法に関するもので、特に、複数個の無機材料体が樹脂材料部分の内部の特定の位置に配置された構造を有する、フォトニック3次元構造体の製造方法、およびこの製造方法によって得られたフォトニック3次元構造体に関するものである。

#### 背景技術

- [0002] フォトニック結晶は、特定の物質中に誘電率が異なる材料を周期的に配列し、電磁波の相互緩衝を利用して特定の波長の波を完全に反射するようにされた構造体である。このように完全に反射する周波数は一定の帯域を示し、これをフォトニックバンドギャップと呼んでいる。
- [0003] 誘電体の周期構造体に電磁波が入ってくると、電磁波のブラッグ回折が起こり、2種類の定在波が形成される。すなわち、低誘電率領域で振動する定在波と高誘電率領域で振動する定在波とである。前者は、後者に比べてエネルギー値が高くなる。したがって、2つの異なるモードにスプリットした定在波間のエネルギーを有する波は、結晶中に存在することができないので、フォトニックバンドギャップが生まれる。
- [0004] フォトニックバンドギャップは、上述のように、ブラッグ回折で生じているため、周期構造体の繰り返し周期である格子定数が波長相当であることが必要である。また、誘電率の差が大きいほど、各誘電体相での振動エネルギーの差が大きく、フォトニックバンドギャップも広がる。そして、誘電率が高いほど、振動エネルギーが低くなり、フォトニックバンドギャップの位置は低周波側にシフトする。
- [0005] 種々のフォトニック結晶があるが、3次元的な電磁波を完全に反射させるためには、あらゆる方向に対してフォトニックバンドギャップが形成される必要がある。このような要求を満たし得るフォトニック結晶として、たとえばダイヤモンド構造のものがある。しかしながら、ダイヤモンド構造は複雑であるため、その製造が困難である。そこで、最近では、光造形法を用いたフォトニック結晶の製造方法が注目されている。

- [0006] 光造形法を用いてフォトニック結晶を製造する方法としては、たとえば、次のようなものがある。
- [0007] 第1に、光硬化性樹脂に誘電体セラミック粉末を混合した複合材料に対して光造形法を適用して、複数の棒状体から構成される2次元基本構造体を順次形成しつつ積層した構造を有するフォトニック結晶を製造する方法がある(たとえば、特開2000-341031号公報参照)。
- [0008] 第2に、所定の位置にボイドが形成された光硬化性樹脂からなる3次元造形体を光造形法によって製造し、その後、誘電体セラミック粉末を樹脂に分散させた複合材料を、ボイド中に充填する方法がある(たとえば、特表2001-502256号公報参照)。
- [0009] また、光造形法を用いるものではないが、高誘電率セラミック粉末を含むグリーンシート上に、低誘電率セラミック粉末を含む印刷塗料をドット形状に印刷し、次いで、グリーンシートを積層し、焼結させる方法がある(たとえば、特開2001-237616号公報参照)。
- [0010] しかしながら、上述の各方法には、それぞれ、解決されるべき課題がある。
- [0011] まず、特開2000-341031号公報および特表2001-502256号公報に記載された各方法では、高誘電率で低損失の誘電体を備えるフォトニック結晶を製造することが困難である。なぜなら、これら公報に記載の各方法では、誘電体として、誘電体セラミック粉末を樹脂中に分散させた複合材料が用いられるからである。
- [0012] また、特に特開2000-341031号公報に記載の方法では、樹脂と誘電体セラミック粉末とを混合した複合材料と、この複合材料によって構成される棒状体間の隙間にある空気との誘電率の差を利用している。この場合、樹脂と誘電体セラミック粉末との混合割合によって、複合材料の誘電率が決まるため、上述の誘電率の差は、複合材料の誘電率によってのみ決まり、その結果、得られるフォトニックバンドギャップの範囲が制限されてしまう。
- [0013] また、特開2000-341031号公報および特表2001-502256号公報に記載の各方法では、テーブルを少しずつ下げて、テーブル上に所定厚み分の液状光硬化性樹脂を供給する必要があることから、この液状光硬化性樹脂の粘度が高すぎると造形が難しい。そのため、特に特表2001-502256号公報に記載の方法のように、液

状光硬化性樹脂に誘電体セラミック粉末を混合する場合、誘電体セラミック粉末の含有量には限界があり、高々約60%である。そして、このように誘電体セラミック粉末を上限である約60%含有させた場合であっても、その誘電率は、誘電体セラミック自身の誘電率の1/4以下になってしまう。したがって、高コントラストのフォトニック結晶を得ることが困難である。

- [0014] 他方、特開2001-237616号公報に記載された方法では、低誘電率セラミックによって構成されるドットは、グリーンシート上に印刷されているにすぎず、これを実質的な立体形状とすることは困難であり、また、積層方向に関して任意の位置に配置することも、グリーンシートの厚みによる制限を受けるので困難である。また、焼成することによって、グリーンシートおよびドット部分が収縮するため、焼成後の焼結体において、ドット部分を所望の周期で配置し、所望のフォトニックバンドギャップを得るように設計することが容易ではない。

特許文献1: 特開2000-341031号公報

特許文献2: 特表2001-502256号公報

特許文献3: 特開2001-237616号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0015] そこで、この発明の目的は、上述のような問題を解決し得る、フォトニック3次元構造体の製造方法およびこの製造方法によって得られたフォトニック3次元構造体を提供しようとすることである。

課題を解決するための手段

- [0016] この発明は、無機材料からなる複数個の無機材料体と、複数個の無機材料体を内部に配置している、光硬化性樹脂材料からなる樹脂材料部分とを備える、フォトニック3次元構造体を製造する方法にまず向けられるものであって、上述した技術的課題を解決するため、次のような構成を備えることを特徴としている。
- [0017] まず、複数個の無機材料体および光硬化性樹脂がそれぞれ用意される。
- [0018] 次に、無機材料体が配置されるべき位置に未硬化の光硬化性樹脂材料が存在しているキャビティが形成され、かつ硬化された光硬化性樹脂からなる複数の硬化樹脂

層を積層した構造を有する、3次元造形体を、光硬化性樹脂材料を積層方向の一端側から層状に順次硬化させることを繰り返す光造形法によって得る、光造形工程が実施される。

- [0019] 上記光造形工程の途中の上記キャビティが閉じられる前であって、このキャビティの少なくとも一部となる、無機材料体を挿入することができる開口を有する凹部が形成された段階で、凹部の内面と無機材料体との間に未硬化の光硬化性樹脂材料を残したまま、凹部内に無機材料体を挿入する工程が実施される。
- [0020] さらに、キャビティ内の未硬化の光硬化性樹脂材料は熱硬化される。
- [0021] この発明に係るフォトニック3次元構造体の製造方法において、3次元造形体の形状を予め立体データとして取り込む工程と、立体データから、3次元造形体の積層方向に垂直な方向にスライスしたスライシングデータを作成する工程と、スライシングデータから、レーザ光のラスターデータを得る工程とをさらに備え、前述の光造形工程では、ラスターデータに従ってレーザ光が走査されることによって、光硬化性樹脂材料を層状に硬化させることが繰り返されることが好ましい。
- [0022] 無機材料体としては、好ましくは、硬化された光硬化性樹脂材料より高い誘電率を有するものが用いられる。この場合、無機材料体は、セラミック焼結体から構成されることが好ましい。
- [0023] また、光硬化性樹脂材料として、内部に複数個の気孔を形成し得るものが用いられるもよい。
- [0024] この発明は、また、上述したような製造方法によって得られた、フォトニック3次元構造体にも向けられる。

#### 発明の効果

- [0025] 以上のように、この発明によれば、未硬化の光硬化性樹脂材料が存在しているキャビティが形成され、かつ硬化された光硬化性樹脂からなる複数の硬化樹脂層を積層した構造を有する、3次元造形体を光造形法によって得るようにしているとともに、この光造形工程の途中のキャビティが閉じられる前であって、キャビティの少なくとも一部となる凹部が形成された段階で、凹部内に未硬化の光硬化性樹脂材料を残したまま、無機材料体を挿入し、その後において、キャビティ内の未硬化の光硬化性樹脂

材料を熱硬化させるようにしているので、複数個の無機材料体を所望の周期位置に正確に配置することができる。

- [0026] また、無機材料体は、別に用意されるものであるので、凹部への挿入前の段階で、その誘電率、大きさおよび形状等を任意に調整することができ、また、これら誘電率、大きさおよび形状等は、得られたフォトニック3次元構造体においても維持されることができる。また、フォトニック3次元構造体における、複数個の無機材料体の間の間隔についても、任意に設定することができる。
- [0027] これらのことから、この発明に係るフォトニック3次元構造体によれば、任意の波長に対応したフォトニックバンドギャップ効果を得ることが可能となり、また、フォトニックバンドギャップを十分に広げることができる。その結果、特定の波長を有する電磁波を、高コントラストをもって遮蔽することができ、たとえば、高効率の電磁波フィルタや電磁波障壁を実現することができる。
- [0028] この発明において、3次元造形体の形状を予め立体データとして取り込み、この立体データから、3次元造形体の積層方向に垂直な方向にスライスしたスライシングデータを作成し、このスライシングデータから、レーザ光のラスタデータを得るようにしながら、光造形工程では、ラスタデータに従ってレーザ光が走査されることによって、光硬化性樹脂材料を層状に硬化させることが繰り返されるようにすると、光造形工程を実施するための準備工程および光造形工程自身を能率的に進めることができる。
- [0029] また、前述したように、この発明によれば、無機材料体の誘電率を任意に調整することができるので、無機材料体として、硬化された光硬化性樹脂材料より高い誘電率を有するものを用いることが容易であり、その結果、誘電率の差の大きいフォトニック結晶を得ることができ、フォトニックバンドギャップを広げることが容易になる。
- [0030] 上述した無機材料体として、セラミック焼結体を用いると、無機材料体内における誘電率に不均一な分布が生じず、したがって、所望のフォトニックバンドギャップを有するフォトニック3次元構造体を得ることが容易になり、また、無機材料体を、たとえば温度や湿度に対して安定なものとすることができる。
- [0031] また、この発明において、光硬化性樹脂材料として、内部に複数個の気孔を形成し得るものが用いられると、フォトニック3次元構造体に備える樹脂材料部分の誘電率

を、気孔が形成されないものに比べて、より低くすることができる。したがって、樹脂材料部分と無機材料体との間での誘電率の差をより大きくすることができる。

### 図面の簡単な説明

[0032] [図1]図1は、この発明の一実施形態によるフォトニック3次元構造体1を、その上部が破断除去された状態で示す斜視図である。

[図2]図2は、図1に示したフォトニック3次元構造体1を製造するために実施される、3次元造形体4についてのスライシングデータを作成する工程を説明するためのものである。

[図3]図3は、図1に示したフォトニック3次元構造体1を製造するために実施される光造形工程を説明するためのもので、光造形装置6を図解的に示す正面図である。

[図4]図4は、図3に示した光造形装置6によって実施される光造形工程の途中の状態を順次示すもので、3次元造形体4の一部を示す断面図である。

[図5]図5は、この発明に従って製造されたフォトニック3次元構造体1の一実施例の電磁波伝搬特性を示す図である。

[図6]図6は、この発明の他の実施形態を説明するためのもので、フォトニック3次元構造体21を概略的に示す正面図である。

### 符号の説明

- [0033] 1, 21 フォトニック3次元構造体
- 2 無機材料体
  - 3 樹脂材料部分
  - 4 3次元造形体
  - 5 積層方向に垂直な面
  - 6 光造形装置
  - 7 レーザ光源
  - 8 レーザ光
  - 9 無機材料体が配置されるべき位置
  - 10 光硬化性樹脂材料
  - 12 テーブル



- 14 液面
- 15 走査ミラー
- 17 硬化樹脂層
- 18 キャビティ
- 19 開口
- 20 凹部

### 発明を実施するための最良の形態

- [0034] 図1を参照して、この発明の一実施形態によるフォトニック3次元構造体1について説明する。なお、図1では、フォトニック3次元構造体1の内部構造の一部を見せるため、フォトニック3次元構造体1は、その上部が破断除去された状態で図示されている。
- [0035] フォトニック3次元構造体1は、無機材料からなる複数個の無機材料体2と、複数個の無機材料体2を内部に配置している、光硬化性樹脂材料からなる樹脂材料部分3とを備えている。
- [0036] 無機材料体2は、樹脂材料部分3より高い誘電率を有していることが好ましく、たとえば、セラミック焼結体から構成される。ここで、無機材料体2を構成する高誘電率セラミックとしては、たとえば、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{NaVO}_3$ 、 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $(\text{Ba}, \text{Pb})\text{ZrO}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Mg}, \text{W})\text{ZrO}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Mg}, \text{Nb})\text{ZrO}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 、 $\text{CaTiO}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  などを用いることができる。また、無機材料体2としては、上述のような高誘電率セラミックに限らず、たとえば、高誘電率材料の結晶（単結晶であってもよい。）や高誘電率材料の複合体等を用いることもできる。
- [0037] 上述したように、無機材料体2を高誘電率材料自身によって構成することにより、樹脂に誘電体セラミック粉末を含有させた複合材料に比べて、高い誘電率を容易に得ることができるとともに、材料内での誘電率を均一なものとすることができる。また、無機材料体2がセラミック焼結体から構成される場合、たとえば温度および湿度に対して安定なものとすることができる。
- [0038] この実施形態では、無機材料体2は、球状である。しかしながら、無機材料体2の形状は、これに限定されるものではなく、たとえば、角柱状、多面体状、菱面体状、円錐状、円柱状等の他の形状であってもよい。

- [0039] 他方、樹脂材料部分3を構成する光硬化性樹脂材料としては、たとえば、エポキシ系光硬化性樹脂、アクリレート系光硬化性樹脂等を用いることができる。なお、この光硬化性樹脂材料の硬化物の誘電率を調整するため、樹脂材料中に、たとえば誘電体セラミック微粒子を混合し分散させることも可能である。
- [0040] 図1に示したフォトニック3次元構造体1では、一部の無機材料体2しか図示されていないが、複数個の無機材料体2は、たとえばダイヤモンド構造を与えるように配置されている。
- [0041] 図1に示したフォトニック3次元構造体1を製造するため、次のような工程が実施される。
- [0042] まず、製造しようとするフォトニック3次元構造体1の樹脂材料部分3に対応する3次元造形体をCAD上で作成し、これを三角メッシュ状に分解した立体データとしてのSTLデータに変換する。
- [0043] 次に、STLデータをコンピュータに取り込み、このSTLデータから、図2に示すように、3次元造形体4の積層方向に垂直な方向の面5に沿ってスライスした立体形状のスライシングデータを作成する。
- [0044] 次に、スライシングデータから、図3に示した光造形装置6に備えるレーザ光源7から発せられる、たとえば紫外線レーザ光のようなレーザ光8の走査態様を制御するための走査データであるラスターデータを作成する。
- [0045] このようにして、図2に示すように、3次元造形体4において無機材料体2が3次的に占める位置9が確定される。
- [0046] 次に、フォトニック3次元構造体1を構成する複数個の無機材料体2および未硬化の光硬化性樹脂材料がそれぞれ用意され、図3に示した光造形装置6を用いて光造形工程が実施される。
- [0047] 図3は、光造形装置6を図解的に示す正面図である。
- [0048] 光造形装置6は、未硬化の光硬化性樹脂材料10を収容する樹脂材料槽11を備えている。樹脂材料槽11内には、その上で3次元造形体4(図4参照)を製造するためのテーブル12が配置される。テーブル12は、矢印13で示すように、所定高さ分毎に徐々に低くされるように駆動される。

- [0049] テーブル12の上方には、レーザ光源7からのレーザ光8を反射させて、これを光硬化性樹脂材料10の液面14に向けるための走査ミラー15が設けられる。走査ミラー15は、前述したラスターデータに従って角度が変更可能なように構成され、それによって、レーザ光8は、両方向矢印16で示すように、液面14に沿って走査される。光硬化性樹脂材料10は、レーザ光8が走査された部分において硬化する。
- [0050] 図3を参照して、テーブル12と液面14との間に、たとえば100  $\mu$ mといった所定の厚み分の液状の光硬化性樹脂材料10が供給されるように、テーブル12が位置される。次いで、スキージによって、その液面14が調整される。このとき、光硬化性樹脂材料10の余剰分が樹脂材料槽11に収容される。この状態で、前述したラスターデータに従ってレーザ光8が走査される。これによって、光硬化性樹脂材料10は、レーザ光8が照射された部分において硬化し、硬化樹脂層17が形成される。
- [0051] 次に、硬化された硬化樹脂層17と液面14との間に所定の厚み分の光硬化性樹脂材料10が再び供給されるように、テーブル12が矢印13方向へ移動され、再び、レーザ光8がラスターデータに従って走査される。これによって、硬化された光硬化性樹脂材料10からなる次の硬化樹脂層17が形成される。
- [0052] 上述のようなレーザ光8の照射による硬化樹脂層17の形成と、テーブル12の下方への移動とは繰り返される。これによって、硬化された光硬化性樹脂材料10からなる複数の硬化樹脂層17を積層した構造を有する、3次元構造体4が、光硬化性樹脂材料10を積層方向の一方端側から層状に順次硬化させることによって得られる。
- [0053] 上述した光造形法による光造形工程を実施することによって、3次元造形体4が製造されるとき、図4に示すように、無機材料体2が配置されるべき位置に未硬化の光硬化性樹脂材料10が存在しているキャビティ18が形成される。図4には、光造形工程の途中の状態が図示され、特に図4(1)には、キャビティ18が閉じられる前の状態が図示されている。
- [0054] 図4(1)に示すように、キャビティ18が閉じられる前であって、キャビティ18の少なくとも一部となる、無機材料体2を挿入することができる開口19を有する凹部20が形成された段階で、図4(2)に示すように、凹部20内に無機材料体2が挿入される。このとき、凹部20の内面と無機材料体2との間には、未硬化の光硬化性樹脂材料10が残さ

れたままである。

- [0055] なお、上述の無機材料体2を凹部20内に挿入する工程において、凹部20内に存在している未硬化の光硬化性樹脂材料10が開口19から溢れ出ることがあり得るが、このような光硬化性樹脂材料10の溢れ出しを望まない場合には、たとえばスキージを用いて、溢れ出た光硬化性樹脂材料10を除去するようにしてもよい。
- [0056] 上述のように、無機材料体2が挿入された後においても、光造形工程が続いて実施され、図4(3)に示すように、凹部20が硬化樹脂層17によって閉じられた状態にあるキャビティ18が形成される。
- [0057] なお、図4を参照して説明した実施形態では、無機材料体2の挿入は、凹部20が無機材料体2のすべてを収容し得る大きさとなった時点に実施されたが、たとえば、無機材料体2の下半分のみを収容し得る大きさに凹部20がなった時点で、無機材料体2が凹部20に挿入されてもよい。
- [0058] また、未硬化の光硬化性樹脂材料10の粘度が低い場合などには、凹部20が実質的に形成される前に、無機材料体2を硬化樹脂層17の所定の位置に配置し、その後、キャビティ19を形成するようにしてもよい。
- [0059] 以上のようにして、所定の位置に複数個のキャビティ18が配置され、各キャビティ18内に位置決めされた状態で無機材料体2が収容されかつ各キャビティ18内に未硬化の光硬化性樹脂材料10が充填されている、3次元造形体4が、硬化された複数の硬化樹脂層17を積層した構造をもって製造される。
- [0060] 次に、各キャビティ18内の未硬化の光硬化性樹脂材料10を熱硬化させる工程が実施される。この熱硬化工程では、たとえば、60℃の温度を4時間付与する熱処理条件が適用される。この熱硬化工程により、無機材料体2と光硬化性樹脂材料10とが密着される。なお、光硬化性樹脂材料10が硬化されず、無機材料体2に密着していないと、無機材料体2の周囲に低誘電率部分が生じてしまい、フォトニックバンドギャップが所望のように形成されないことがある。
- [0061] この発明の一実施例として、上述のような製造方法を採用しながら、安定化ジルコニウムからなる直径3mmの球状の無機材料体2を用い、格子定数12mmに設定されたフォトニック3次元構造体1を製造した。このフォトニック3次元構造体1を導波管

に入れ、その電磁波伝搬特性を測定したところ、図5に示すように、大きなフォトニックバンドギャップが観測された。

- [0062] 図6は、この発明の他の実施形態を説明するためのフォトニック3次元構造体21を図解的に示す正面図である。
- [0063] 図6において、ハッチングを施した部分は、図1のように無機材料体を一定周期に配置した領域22を示し、それ以外の部分は、無機材料体を配置せず、それゆえ格子が存在しない欠陥領域23を示している。欠陥領域23は、図示のように、層方向全域に形成されても、層方向の一部に形成されてもよい。
- [0064] この発明に係る製造方法によれば、図6に示すような欠陥領域23が導入されたフォトニック3次元構造体21であっても、これを容易に製造することができる。
- [0065] 以上、この発明を図示した実施形態に関連して説明したが、この発明の範囲内において、その他、種々の変形例が可能である。
- [0066] たとえば、光硬化性樹脂材料10として、内部が空洞となったマイクロカプセルを予め含有させたものを用い、得られたフォトニック3次元構造体1において、樹脂材料部分3の内部に複数個の気孔を形成するようにしてもよい。これによって、樹脂材料部分3自体の誘電率をより低く調整することができる。
- [0067] また、前述した実施形態では、無機材料体2の方が樹脂材料部分3よりも誘電率が高かったが、たとえば、樹脂材料部分3に高誘電率セラミック粉末を含有させるなどして、逆に、無機材料体2の方が樹脂材料部分3に比べて誘電率を低くするようにしてもよい。
- [0068] このように、無機材料部分や樹脂材料部分の誘電率を種々に組み合わせることによって、フォトニックバンドギャップを任意に調整できる。
- [0069] また、前述した実施形態では、フォトニック3次元構造体1において、互いに同じ大きさおよび互いに同じ材料からなる複数個の無機材料体2が配置されたが、大きさおよび／または材料の互いに異なる2種類以上の無機材料体が配置されてもよい。すなわち、フォトニックバンドギャップは、同じ大きさかつ同じ材料の無機材料体が一定周期で配置されていれば生じるものであり、したがって、1個のフォトニック3次元構造体において、複数種類の無機材料体が配置される場合であっても、これら無機材料

体のうち、同じ大きさかつ同じ材料のものが、それぞれ、周期的に配置されていればよいことになる。

[0070] なお、前述した実施形態では、キャビティの形状を無機材料体の形状に沿うような形状にしているが、たとえば球状の無機材料体を挿入する場合などには、キャビティを円柱状のような形状にすることも可能であり、位置決めが確実にできれば、必ずしも無機材料体に沿う形状でなくてもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0071] この発明に係るフォトニック3次元構造体は、特定の波長を有する電磁波を、高コントラストをもって遮蔽することが要求される、たとえば、高効率の電磁波フィルタや電磁波障壁を実現するために利用することができる。

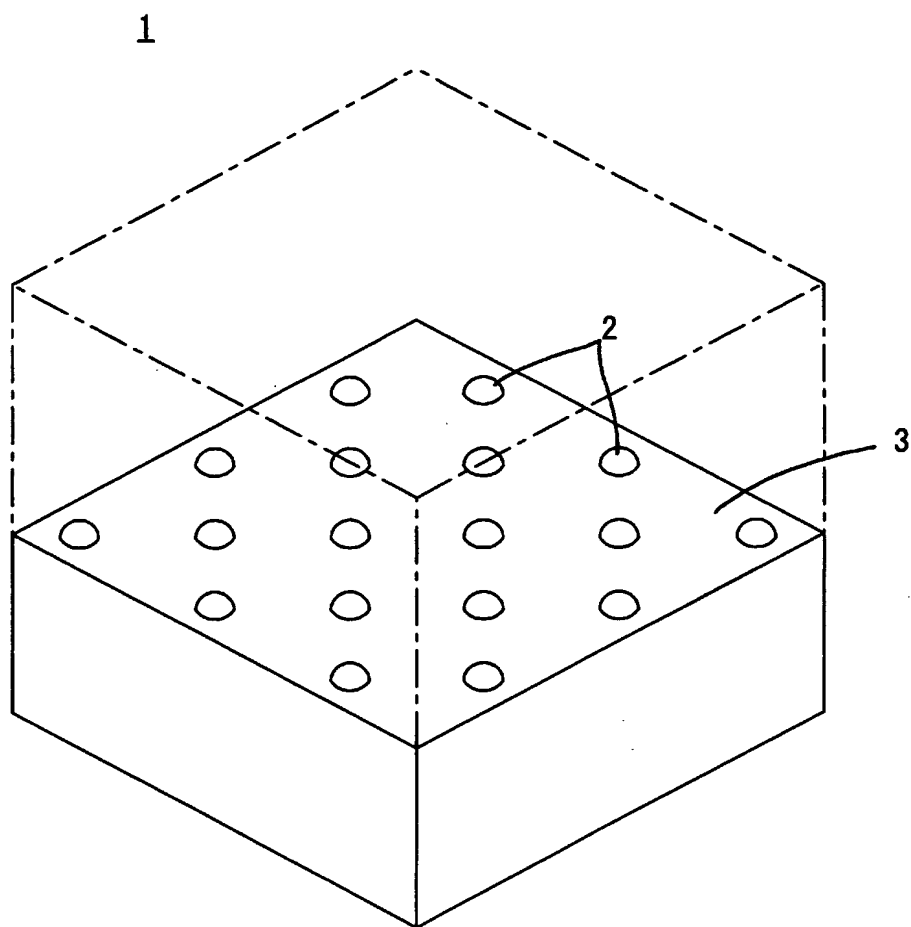
### 請求の範囲

- [1] 無機材料からなる複数個の無機材料体と、複数個の前記無機材料体を内部に配置している、光硬化性樹脂材料からなる樹脂材料部分とを備える、フォトニック3次元構造体を製造する方法であって、
- 複数個の前記無機材料体および前記光硬化性樹脂材料をそれぞれ用意する工程と、
- 前記無機材料体が配置されるべき位置に未硬化の前記光硬化性樹脂材料が存在しているキャビティが形成され、かつ硬化された前記光硬化性樹脂材料からなる複数の硬化樹脂層を積層した構造を有する、3次元造形体を、前記光硬化性樹脂材料を積層方向の一方端側から層状に順次硬化させることを繰り返す光造形法によって得る、光造形工程とを備え、
- 前記光造形工程の途中の前記キャビティが閉じられる前であって、前記キャビティの少なくとも一部となる、前記無機材料体を挿入することができる開口を有する凹部が形成された段階で、前記凹部の内面と前記無機材料体との間に未硬化の前記光硬化性樹脂材料を残したまま、前記凹部内に前記無機材料体を挿入する工程が実施され、
- さらに、前記キャビティ内の未硬化の前記光硬化性樹脂材料を熱硬化させる工程を備える、フォトニック3次元構造体の製造方法。
- [2] 前記3次元造形体の形状を予め立体データとして取り込む工程と、前記立体データから、前記3次元造形体の積層方向に垂直な方向にスライスしたスライシングデータを作成する工程と、前記スライシングデータから、レーザ光のラスタデータを得る工程とをさらに備え、前記光造形工程では、前記ラスタデータに従ってレーザ光が走査されることによって、前記光硬化性樹脂材料を層状に硬化させることが繰り返される、請求項1に記載のフォトニック3次元構造体の製造方法。
- [3] 前記無機材料体として、硬化された前記光硬化性樹脂材料より高い誘電率を有するものが用いられる、請求項1に記載のフォトニック3次元構造体の製造方法。
- [4] 前記無機材料体は、セラミック焼結体である、請求項3に記載のフォトニック3次元構造体の製造方法。

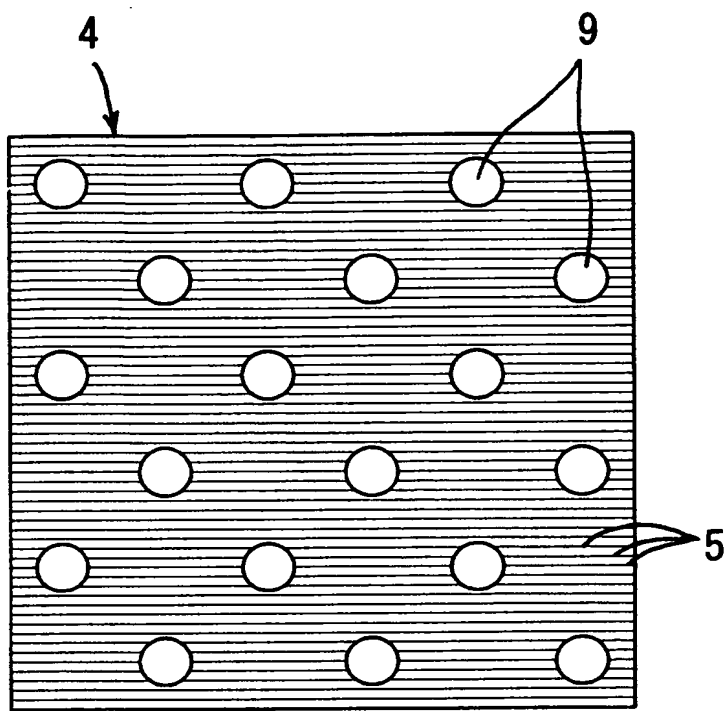
- [5] 前記光硬化性樹脂材料として、内部に複数個の気孔を形成し得るものが用いられる、請求項1に記載のフォトニック3次元構造体の製造方法。
- [6] 請求項1ないし5のいずれかに記載の製造方法によって得られた、フォトニック3次元構造体。



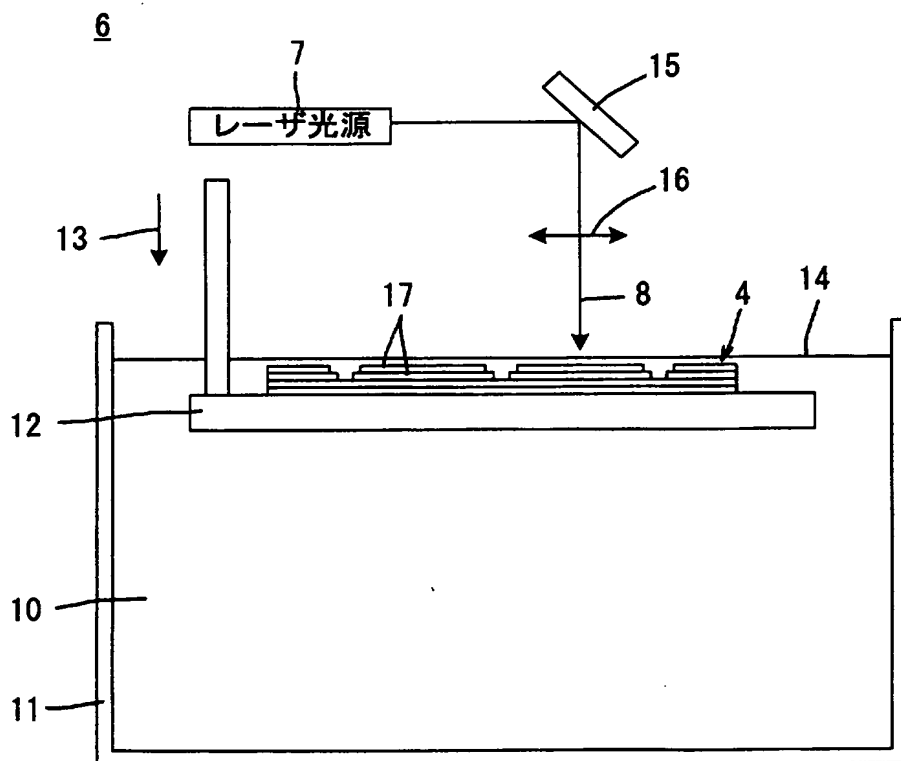
[図1]



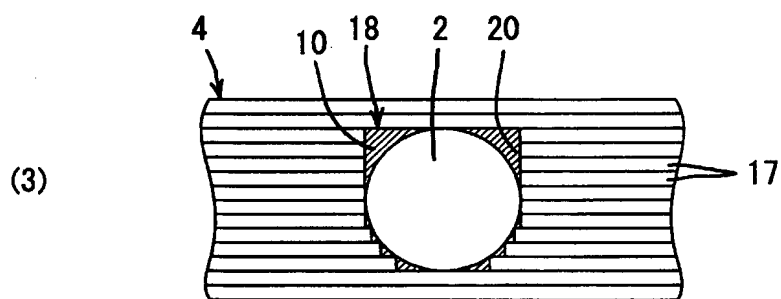
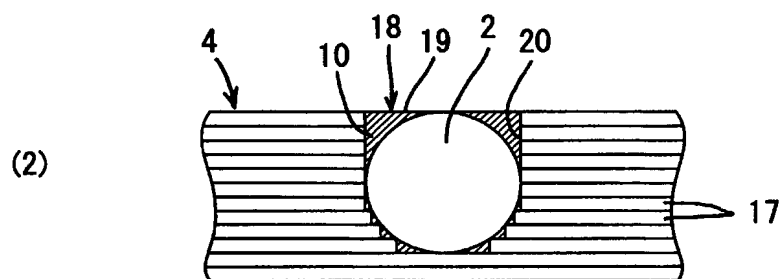
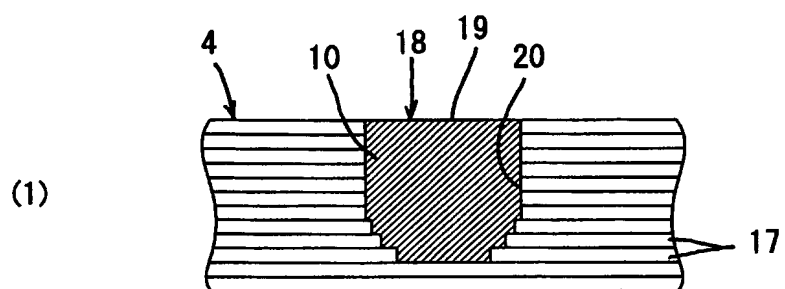
[図2]



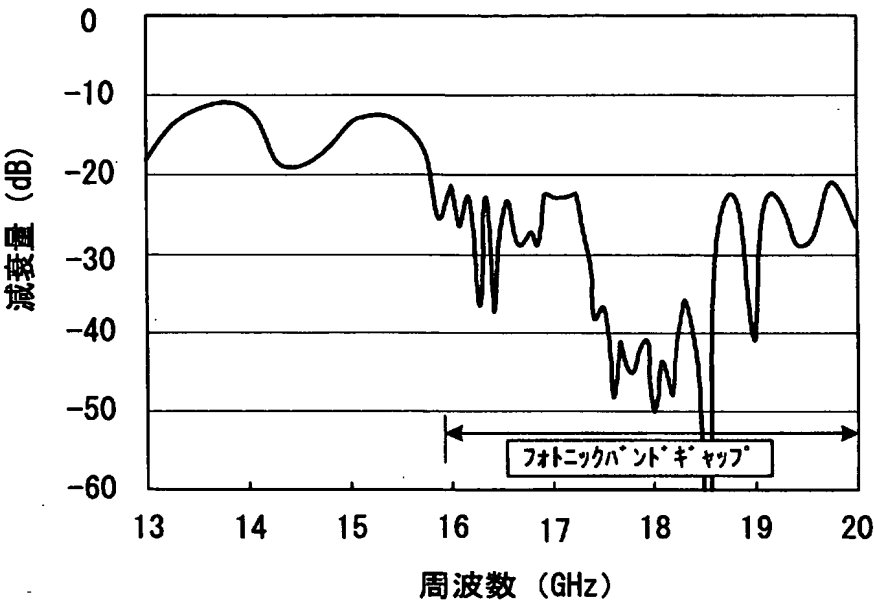
[図3]



[図4]

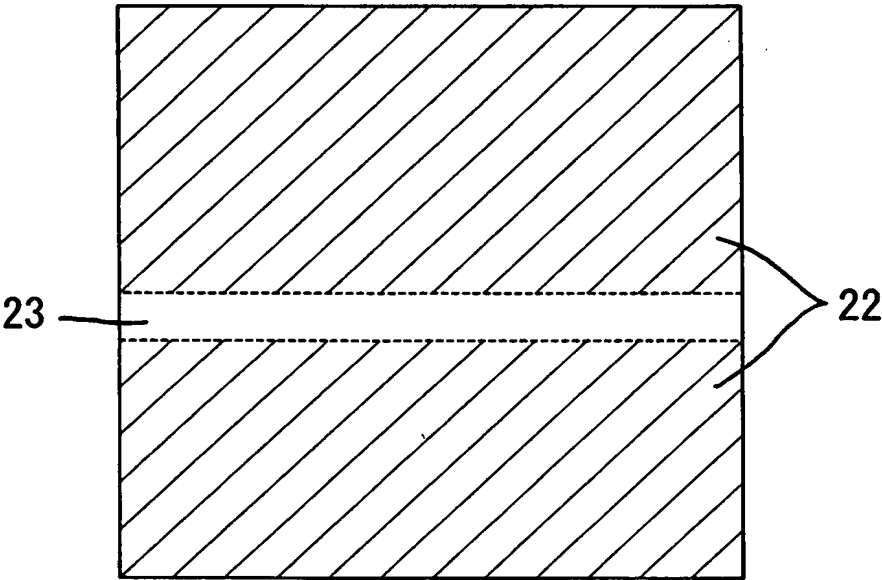


[図5]



[図6]

21



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008875

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> B29C67/00, G02B1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> B29C67/00, G02B1/02, G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2001-502256 A (Great Britain), 20 February, 2001 (20.02.01), Page 7, lines 10 to 20; page 8, line 25 to page 9, line 19 & WO 98/15858 A page 4, line 22 to page 5, line 3; page 6, line 18 to page 7, line 14 & EP 0931273 B1 & US 6547982 B1	6 1-5
A	JP 2000-341031 A (Kabushiki Kaisha Ion Kogaku Kenkyusho), 08 December, 2000 (08.12.00), Claim 1; column 2, lines 3 to 8 (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
03 August, 2004 (03.08.04)Date of mailing of the international search report  
17 August, 2004 (17.08.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008875

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2004-42546 A (The Institute of Physical and Chemical Research), 12 February, 2004 (12.02.04), Claim 1 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. C1<sup>7</sup> B29C67/00, G02B1/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C1<sup>7</sup> B29C67/00, G02B1/02, G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2004年

日本国実用新案登録公報 1996-2004年

日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	JP 2001-502256 A (イギリス国) 2001. 02. 20, 第7頁第10行-第20行, 第8頁第25 行-第9頁第19行 & WO 98/15858 A, 第4頁第 22行-第5頁第3行, 第6頁第18行-第7頁第14行 & E P 0931273 B1 & US 6547982 B1	6 1-5
A	JP 2000-341031 A (株式会社イオン工学研究所) 2000. 12. 08, 請求項1, 第2欄第3行-第8行 (ファミ リーなし)	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

03. 08. 2004

国際調査報告の発送日

17. 8. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大島 祥吾

4 F

3341

電話番号 03-3581-1101 内線 3430

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PA	JP 2004-42546 A (理化学研究所) 2004.02.12, 請求項1 (ファミリーなし)	1-6